

<sup>1</sup>OLIVEIRA, Cassiano Rodrigues de ([kemio@mailcity.com](mailto:kemio@mailcity.com))

<sup>1</sup>SILVA, Cláudio Mudado ([mudado@ufv.br](mailto:mudado@ufv.br))

<sup>1</sup>RABELO, Márcio Dias ([mdrabelo@bol.com.br](mailto:mdrabelo@bol.com.br))

<sup>1</sup>TIESEHAUSEN, André Fonseca von ([andrefvt@zipmail.com.br](mailto:andrefvt@zipmail.com.br))

<sup>1</sup>ROSSONI, Hygor <sup>a</sup> Victor ([hygorufv@bol.com.br](mailto:hygorufv@bol.com.br))

<sup>1</sup>COLODETTE, Jorge Luiz ([colodett@ufv.br](mailto:colodett@ufv.br))

<sup>2</sup>MILANEZ, Augusto Fernandes ([amilanez@suzano.com.br](mailto:amilanez@suzano.com.br))

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Laboratório de Celulose e Papel, Campus da UFV, Viçosa – MG – CEP 36570-000 – (31) 3899-2717

<sup>2</sup>Cia. Suzano de Papel e Celulose, Unidade B, Rua Dr. Prudente de Moraes, 4006 – Suzano – SP CEP 08613-900

## Abstract

In the pulp and paper industry, the water use minimization is a constant concern. One way to reduce water use is to recycle effluent in a closed-cycle concept. The possible reuse of segregated effluents is more attractive than of final total effluent. Effluent from specific mill sites might have quality good enough to be recycled; otherwise it would be treated. In paper mills, the main source of effluent is the so-called whitewater.

This paper study of the viability of papermill whitewater reuse after membrane ultrafiltration. The contaminant removal and flux behavior were evaluated. The treated whitewater reuse in paper production and in pulp bleaching process was evaluated. The ultrafiltration treatment was technically feasible and treated whitewater has a good potential to be recycled to the bleaching plant or to the paper machine.

**Keywords:** effluent ultrafiltration, closed-cycled, whitewater reuse, pulp and paper mills

## Resumo

Nas indústrias de celulose e papel, a redução no consumo de água é uma preocupação constante. Uma das formas de se reduzir esse consumo é através do fechamento dos circuitos de água da fábrica. O fechamento de circuitos pode ser feito pela reutilização dos efluentes setoriais do processo produtivo. Em fábricas de papel integradas, uma das principais fontes de efluente setorial é a água branca das máquinas de papel.

O presente trabalho apresenta um estudo da viabilidade técnica de recirculação da água branca proveniente de uma fábrica e papel integrada no processo produtivo. A reutilização deste efluente setorial foi avaliada a partir de um tratamento de ultrafiltração com membranas poliméricas. A capacidade de remoção de contaminantes pelas membranas foi avaliada por análises físico-químicas e o comportamento de fluxo foi descrito para cada efluente estudado. Além disso, este trabalho apresenta uma discussão quanto à reutilização dos efluentes tratados em alguns pontos do processo produtivo, bem como as possíveis consequências desta reutilização no processo e no produto final. Verificou-se que o tratamento de ultrafiltração com membranas é tecnicamente viável, considerando-se as exigências de qualidade do efluente tratado que cada setor apresenta.

**Palavras-chave:** ultrafiltração, fechamento de circuitos, água branca, indústria de celulose e papel

## 1. Introdução

Na indústria de celulose e papel, a preocupação com o excessivo uso da água já é observada existindo uma tendência de redução do consumo de água através do controle preventivo da poluição [1] pela modificação dos processos. Outra forma de se minimizar esse consumo de água é a reutilização dos efluentes setoriais em substituição à água fresca [2-3]. Entretanto, reutilizar o efluente no processo nem sempre é possível por ele não satisfazer aos padrões de qualidade exigidos para o seu retorno à produção. O efluente proveniente do processo não pode ser recirculado porque alguns componentes presentes no mesmo podem causar problemas como redução na qualidade do papel e formação de depósitos e de entupimento nos equipamentos. Surge então a alternativa de se aplicar um tratamento setorial do efluente, tornando-o adequado à sua reutilização. Este tratamento setorial pode ser mais simples e de menor custo do que o tratamento de todos os efluentes da fábrica misturados em uma única unidade.

O consumo de água nas fábricas de papel varia de 8 a 23 m<sup>3</sup>/t<sub>sa</sub>, dependendo do tipo de papel produzido e do grau de fechamento de circuitos da máquina de papel gerando, assim, considerável volume de efluente. Algumas pesquisas têm sido elaboradas sobre a utilização de processos de filtração com membranas para a reutilização de efluentes de máquinas de papel [5-7]. A redução do consumo de água fresca, da perda de fibras e do consumo químico e a diminuição da carga poluidora para a estação de tratamento de efluentes são alguns benefícios advindos da reutilização da água branca proveniente das máquinas de papel [4].

Neste trabalho será avaliada a capacidade de remoção de contaminantes pelas membranas através de análises dos parâmetros físico-químicos e as condições de fluxo nas membranas para se verificar a viabilidade técnica do sistema. Além disso, o trabalho visa ainda avaliar os impactos da reutilização dos efluentes tratados em alguns setores do processo fabril.

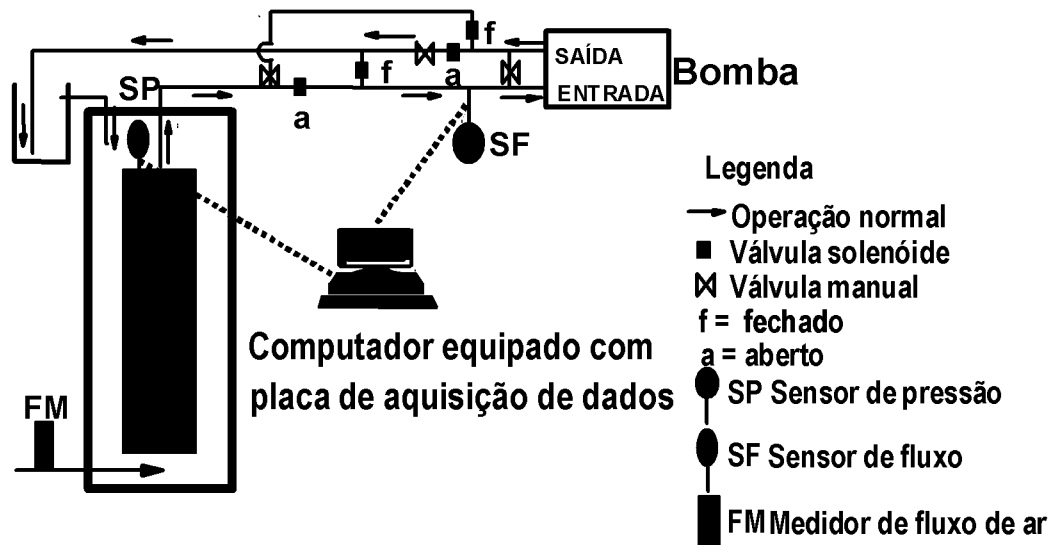
## 2. Material e Métodos

### 2.1. Ultrafiltração da água branca

O tratamento foi aplicado à mistura das águas brancas provenientes das máquinas de papel da fábrica de papel integrada com o sistema de ultrafiltração com membranas submersas esquematizado na Figura 1. O sistema consistiu em um módulo de membranas de ultrafiltração ocas submersas em um tanque, onde a suspensão foi introduzida. Cada membrana possuía um diâmetro externo aproximado de 2mm e 1m de comprimento. As membranas tinham uma porosidade média de 0,02µm. A área total de superfície das membranas foi de 1m<sup>2</sup>. A pressão interna das membranas foi gerada por uma bomba externa, que produziu um vácuo interno nas fibras e um fluxo do exterior para o interior das membranas. Foi realizada uma turbulência na suspensão através da injeção de ar, minimizando a deposição de material ao longo da superfície das membranas e conseqüente entupimento. A injeção de ar foi feita utilizando-se uma bomba sopradora. O tanque tinha um diâmetro de 0,4m e um volume de 120L. O sistema foi operado em circuito fechado de forma que o efluente tratado retornasse ao tanque de ultrafiltração, mantendo a concentração e o volume da suspensão constantes.

A contra-lavagem foi realizada pela reversão do fluxo do efluente tratado. Esta operação foi realizada automaticamente pela utilização de válvulas solenóides e de um temporizador laboratorial.

Essa mistura é realizada em um tanque pulmão, unidade armazenadora de água branca do sistema, para diluição da polpa branqueada proveniente do branqueamento. Um volume de 100 L da mistura de água branca foi coletado em um tanque de armazenamento da fábrica em cada dia de filtração.



**Figura 1** – Modelo esquemático do sistema piloto de ultrafiltração com membranas em operação normal

A filtração da água branca foi realizada em batelada por três (03) dias consecutivos sendo que os sólidos contidos no tanque de filtração não foram removidos. Os ciclos de filtração tiveram duração de 15 minutos, com 30 segundos de contra-lavagem, para limpeza das membranas. Foram realizadas medições de fluxo de filtração a cada 60 minutos de filtração da água branca. Foi realizada uma medida de fluxo inicial com água limpa. A pressão no interior do módulo foi mantida constante em  $-10$  mmHg durante a filtração. O tanque que contém o módulo de membranas sofreu injeção de ar com fluxo constante de  $1,0$  SCFM para manter a mistura em constante agitação e para amenizar o entupimento das membranas.

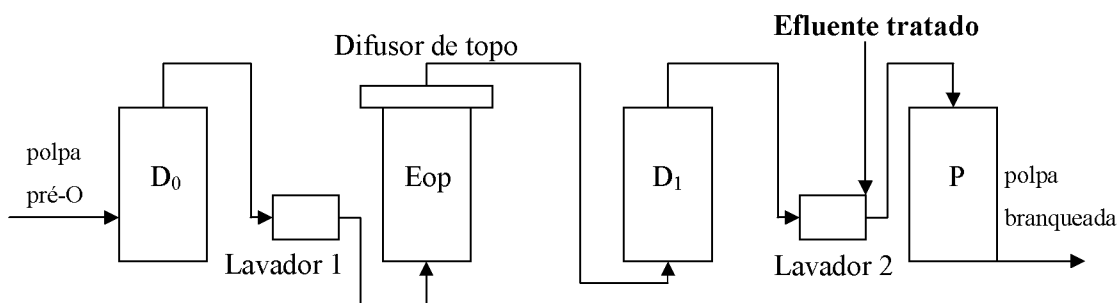
No teste, foram coletadas cinco amostras: efluente bruto, efluente tratado, concentrados 1 Volume (1V), 2 Volumes (2V) e 3 Volumes (3V). Os efluentes bruto e tratado sofreram amostragem composta de alíquotas coletadas no final de cada dia de filtração. Os concentrados 1V, 2V e 3V sofreram amostragem simples, também ao final de cada dia de filtração. Os efluentes foram caracterizados com análises de DQO,  $DBO_5$ , ST, SST, SDT, cor real, pH, condutividade, alcalinidade, dureza, turbidez, cloretos, metais (Ca, Mg, Mn, Cu, K, Fe) e análise qualitativa de alvejante óptico pela exposição de uma amostra de água branca em folha isenta de aditivos químicos à radiação ultravioleta.

Após o tratamento e da caracterização da água branca, foram discutidos os principais impactos em alguns pontos de reutilização da água branca no processo de fabricação de celulose e papel.

## 2.2. Reutilização da água branca tratada

### 2.2.1. Branqueamento

A reutilização da água branca tratada no branqueamento foi realizada através da simulação laboratorial do último estágio da seqüência ECF,  $OD_0(Eop)D_1P$ , como é mostrado na Figura 2. O estágio de peroxidação foi adaptado para a torre de estocagem com o objetivo de estabilizar a alvura final da polpa branqueada antes de ser enviada para as máquinas de papel e de secagem da celulose. Após a saída das torres de estocagem não existe um sistema de lavagem, sendo a polpa diluída com água branca proveniente do tanque pulmão e diretamente conduzida para o processamento do papel e da celulose.



**Figura 2** – Modelo esquemático da sequência de branqueamento com a entrada do efluente tratado por ultrafiltração

Foi utilizada uma polpa Kraft industrial de eucalipto coletada após a lavagem do último estágio de dioxidação na planta de branqueamento da fábrica de celulose e papel integrada estudada. A polpa foi lavada, centrifugada e acondicionada em sacos de polietileno em câmara fria. Três tipos de água foram utilizados nos testes: água fresca, água branca bruta do tanque pulmão, água branca ultrafiltrada do tanque pulmão.

### 2.2.1.1. Peroxidação (Estágio P)

O estágio de peroxidação foi realizado segundo as condições apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Condições gerais de branqueamento no estágio de peroxidação

Condições	Estágio P-final
Consistência (%)	8
Temperatura (°C)	70
Tempo (min)	180
Dosagem de NaOH (kg/tsa)	3,0
Dosagem de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (kg/tsa)	1,5

O branqueamento foi efetuado em sacos de polietileno, com amostras de 300g a.s. de polpa proveniente do estágio D<sub>1</sub>. A polpa foi pré-aquecida até a temperatura desejada em forno de microondas, tendo, em seguida, a adição do licor de branqueamento contendo peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), hidróxido de sódio (NaOH) e água. Após mistura manual, o material foi colocado em banho de vapor e mantido à temperatura constante. Após o tempo de reação, foram extraídas amostras de licor residual para análise de pH e do teor de residual de peróxido de hidrogênio. A polpa foi centrifugada e acondicionada em sacos de polietileno para caracterização. Os filtrados foram coletados em frascos de polietileno e acondicionados em freezer para caracterização.

### 2.2.2. Propriedades físico-mecânicas e ópticas do papel

Esta etapa teve como objetivo avaliar o impacto da reutilização da água branca na qualidade do produto final. Utilizou-se um refinador PFI para a realização da curva de refino da polpa branqueada, em diferentes níveis de revoluções. Determinou-se a drenabilidade da polpa a partir da medida do Grau Schopper Riegler. Após o refino da polpa branqueada, as folhas de papel foram formadas em formadora tipo TAPPI e submetidas aos testes físico-mecânicos e testes ópticos para avaliação dos impactos na qualidade do produto final. Os parâmetros de qualidade do papel analisados foram opacidade, brancura, alvura, brancura, índice de tração, módulo de elasticidade, TEA, índice de arrebatamento, resistência à passagem de ar, lisura, maciez e índice de rasgo.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Ultrafiltração da água branca

A caracterização dos efluentes coletados durante o teste de ultrafiltração é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1 – Caracterização dos efluentes resultantes do teste de ultrafiltração**

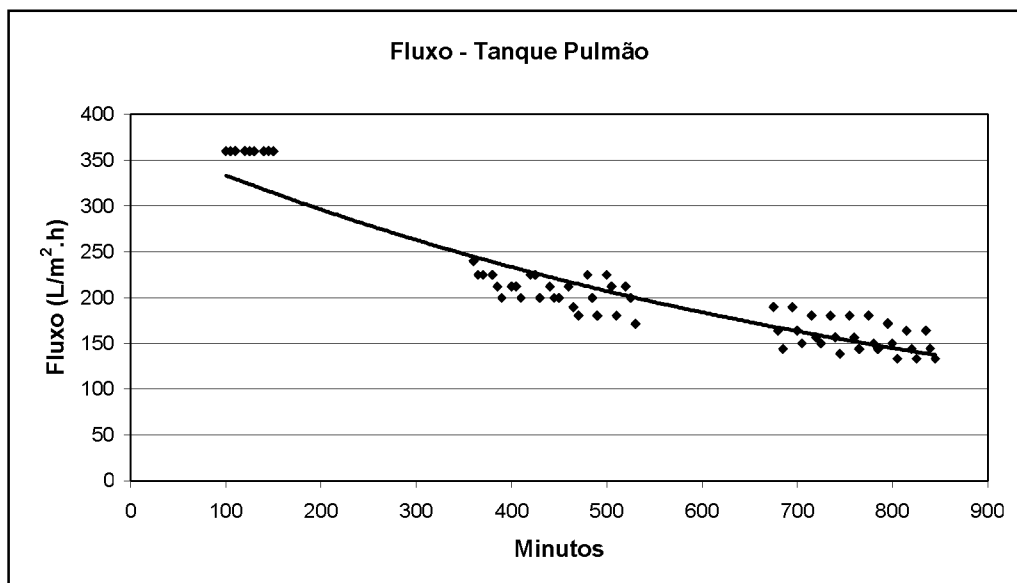
Parâmetros	Amostras				
	Água branca bruta	Água branca ultrafiltrada	Concentrado 1 Volume	Concentrado 2 Volumes	Concentrado 3 Volumes
DQO total, mg/L	485,0	269,3	696,7	653,7	1110,7
DBO <sub>5</sub> , mg/L	222,8	136,5	369,9	194,8	346,2
ST, mg/L	1530,0	1277,5	1655,0	1770,0	2760,0
SST, mg/L	380,0	ND	572,0	707,0	1286,5
SDT, mg/L	1150,0	1277,5	1083,0	1063,0	1473,5
Cor real, UC	18,0	19,8	27,6	28,1	34,7
Turbidez, NTU	389,0	4,7	600,7	761,3	1852,7
Alcalinidade, mg/L CaCO <sub>3</sub>	340,5	188,5	412,8	477,3	721,1
Dureza, mg/L CaCO <sub>3</sub>	288,6	209,0	281,9	308,5	318,4
Condutividade, $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$	2036,0	2093,3	2059,7	2036,0	2180,0
pH	7,3	7,5	7,3	7,3	7,4
Cloretos, mg/L	191,3	205,5	198,0	193,0	203,0
Cu, mg/L	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3
Mn, mg/L	ND	ND	ND	ND	ND
Fe, mg/L	1,3	1,1	1,3	1,3	1,5
Ca, mg/L	98,3	41,5	125,9	143,4	196,8
Mg, mg/L	9,6	8,8	11,7	12,5	15,0
K, mg/L	30,6	30,0	30,4	30,3	29,9
Alvejante óptico	ausente	ausente	ausente	ausente	Ausente

\*ND - não detectado

Os valores encontrados para alguns parâmetros, como pH e a condutividade, mostraram-se estáveis, refletindo a independência dessas características quanto ao tratamento. Por outro lado, o tratamento realiza remoção de SST, turbidez, DQO total e DBO<sub>5</sub>. Podemos observar ainda que, na análise de metais uma pequena fração dos mesmos foi removida pelo sistema de ultrafiltração. Este resultado mostra que a ultrafiltração não foi capaz de remover efetivamente íons dissolvidos no líquido como os metais. Por outro lado, sabe-se que à medida que a ultrafiltração é realizada, há a formação de uma fina camada de sólidos ao longo da superfície das membranas. Esta camada permite a retenção de pequena fração dos metais durante a ultrafiltração.

O teor elevado de metais potencialmente incrustantes (Ca, Mg) no efluente tratado mostra que algum efeito pode ser esperado quanto à reutilização do efluente tratado no processo. A análise qualitativa de alvejante óptico revelou ausência de produtos que venham a apresentar fluorescência à radiação ultravioleta.

Na Figura 2 é mostrado o comportamento do fluxo de filtração ao longo dos três dias de teste.



**Figura 2** – Fluxo do filtrado em função do tempo ao longo do tratamento de ultrafiltração

Foi adotado um tempo de filtração contínuo nos três dias de filtração, considerando-se somente o período de operação do sistema. O fluxo do filtrado através de membranas poliméricas submersas apresenta um comportamento tipicamente exponencial, tendendo a uma estabilização. Pode-se observar que não há uma queda significativa no fluxo de filtração para os três dias de teste. A tendência de estabilização do fluxo no teste é em torno de 150L/m<sup>2</sup>.h. Este comportamento demonstra que o potencial de entupimento deste efluente não foi vigoroso. Evidentemente, os fluxos de uma planta piloto não são necessariamente aqueles a serem observadas em plantas industriais, mas nos fornecem uma idéia deste potencial de entupimento.

### 3.2. Reutilização da água branca tratada

#### 3.2.1. Branqueamento

Com a caracterização das amostras coletadas no tratamento de ultrafiltração com membranas, testou-se a reutilização da água branca ultrafiltrada no branqueamento da celulose. A reutilização de água pode ser realizada como água de lavagem entre os estágios, na substituição parcial ou total da água fresca que entra no processo. Neste trabalho, foram comparados os usos de água fresca, água branca bruta e água branca ultrafiltrada do tanque pulmão como água de processo no estágio de peroxidação.

Os fatores limitantes desta reutilização são a concentração de matéria orgânica, de metais, a presença de alvejante óptico e a cor. Os valores de matéria orgânica devem ser baixos para que não ocorra consumo excessivo de reagentes químicos. A concentração de elementos metálicos, principalmente íons cálcio e magnésio, deve ser menor que 40mg/L para que não ocorra a formação de depósitos ao longo do processo [8]. As presenças de alvejante óptico e cor acentuada devem ser analisadas nos pontos de recirculação para que a determinação da alvura final na polpa branqueada não possua interferentes.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da caracterização dos filtrados provenientes do estágio de peroxidação.

**Tabela 2 - Caracterização dos filtrados após o estágio de peroxidação**

Parâmetros	Amostras	Filtrado 1*	Filtrado 2**	Filtrado 3***
pH		8,30	8,52	8,78
Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )		477	2040	1947
DQO (mg/L)		339,1	461,6	444,1
Dureza total (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )		6,12	63,24	42,84
Alcalinidade (mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )		186	333	293
AOX (mg/L)		2,45	5,45	7,35
Cu (mg/L)		ND	ND	ND
Mn (mg/L)		0,6	0,6	0,6
Fe (mg/L)		ND	ND	ND
Ca (mg/L)		19,3	22,2	21,6
Mg (mg/L)		ND	4,6	2,4

\* filtrado proveniente da simulação do estágio P utilizando-se água fresca como água de processo

\*\* filtrado proveniente da simulação do estágio P utilizando-se água branca bruta do tanque pulmão como água de processo

\*\*\* filtrado proveniente da simulação do estágio P utilizando-se água branca ultrafiltrada do tanque pulmão como água de processo

Na comparação entre os filtrados, observa-se que ocorreu um acúmulo de material orgânico, em relação a o referencial com água fresca nos filtrados. Essa concentração de DQO não é interessante para a peroxidação, uma vez que o peróxido pode oxidar preferencialmente a matéria orgânica proveniente da água branca, diminuindo seu potencial alvejante na polpa. A condutividade dos filtrados de água branca também é muito maior do que no referencial com água fresca. Este fenômeno demonstra o acúmulo de íons salinos no sistema devido à recirculação da água branca. Embora elevada, a condutividade *per se* não seria prejudicial ao processo, devido aos valores elevados já encontrados deste parâmetro ao longo da linha de produção de celulose. Por outro lado os íons que a compõem podem influenciar significativamente pela formação de incrustações ou corrosão nos equipamentos e tubulações.

Os valores de dureza e alcalinidade seguem o comportamento apresentado para DQO e condutividade. A concentração de dureza nos filtrados de água branca bruta e ultrafiltrada mostra a necessidade de remoção de cálcio no efluente para que a reutilização em outros setores do branqueamento seja tecnicamente viável, como previsto em literatura [8].

A Tabela 3 mostra a que a qualidade da polpa branqueada não foi significativamente afetada com a reutilização das águas brancas bruta e ultrafiltrada do tanque pulmão. A simulação de branqueamento foi realizada em escala laboratorial, denotando uma necessidade de comprovação a nível piloto ou industrial.

**Tabela 3 – Caracterização da polpa após o estágio de peroxidação**

Parâmetros	Amostras	Polpa 1	Polpa 2	Polpa 3
Alvura A.D. (% ISO)		88,4	88,2	88,5
Alvura O.D. (% ISO)		85,5	85,4	85,9
Reversão de Alvura		2,87	2,81	2,66
Delta R457		-0,04	0,03	0,02
Viscosidade (dm <sup>3</sup> /kg)		854,2	863,9	832,2
OX (mg/kg)		-	177,6	197,5
Cu (mg/L)		ND	ND	ND
Mn (mg/L)		7,9	8,6	8,5
Fe (mg/L)		32,7	33,9	36,5
Ca (mg/L)		202,7	241,4	240,5
Mg (mg/L)		40,7	40,7	43,1

\*polpa inicial – alvura (% ISO) 86,2; viscosidade (dm<sup>3</sup>/kg) 869,0

polpa 1- polpa proveniente da simulação do estágio P utilizando-se água fresca como água de processo

polpa 2 – polpa proveniente da simulação do estágio P utilizando-se água branca bruta do tanque pulmão como água de processo

polpa 3 – polpa proveniente da simulação do estágio P utilizando-se água branca ultrafiltrada do tanque pulmão como água de processo

### 3.2.2. Propriedades físico-mecânicas e ópticas do papel

Uma vez realizado o refino e determinado o grau de drenabilidade da polpa, as folhas de papel formadas foram testadas e os resultados dos testes são mostrados nas Tabelas 4 a 6.

**Tabela 4 – Propriedades físico-mecânicas e ópticas do papel – água fresca**

Parâmetros	Amostras	Água fresca			
		Nº de revoluções PFI			
		0	1000	2000	2500
Alvura (% ISO)		87,0	85,0	83,9	83,6
Opacidade (%)		83,5	76,9	71,4	68,5
Brancura		74,7	70,4	68,0	67,7
Índice de tração (N.m/g)		21,34	65,71	78,34	87,75
Módulo de elasticidade (MN.m/kg)		3,54	6,40	7,00	7,20
TEA (J/m <sup>2</sup> )		10,62	79,31	104,66	129,09
Índice de arrematamento (KPa.m/g)		0,62	3,27	4,13	4,77
Índice de rasgo (mN.m <sup>2</sup> /g)		4,79	8,68	9,10	8,36
Resistência à passagem de ar (s/100cm <sup>3</sup> )		7,10	11,20	43,82	104,40
Lisura (s/50cm <sup>3</sup> )		7,45	14,05	19,27	19,14
Maciez (s/100cm <sup>3</sup> )		227,60	51,70	50,52	40,49

**Tabela 5 – Propriedades físico-mecânicas e ópticas do papel – água bruta do tanque pulmão**

Parâmetros	Amostras	Água bruta do tanque pulmão			
		Nº de revoluções PFI			
		0	1000	2000	2500
Alvura (% ISO)		86,47	84,7	83,4	83,5
Opacidade (%)		82,5	77,1	72,9	67,9
Brancura		74,0	71,1	67,2	67,5
Índice de tração (N.m/g)		28,52	52,4	56,23	66,43
Módulo de elasticidade (MN.m/kg)		4,48	6,09	5,94	6,29
TEA (J/m <sup>2</sup> )		21,18	63,59	82,22	108,43
Índice de arrematamento (KPa.m/g)		1,23	2,56	2,89	3,87
Índice de rasgo (mN.m <sup>2</sup> /g)		5,58	9,32	8,70	9,09
Resistência à passagem de ar (s/100cm <sup>3</sup> )		3,64	19,39	40,74	100,93
Lisura (s/50cm <sup>3</sup> )		9,55	13,45	17,70	20,83
Maciez (s/100cm <sup>3</sup> )		155,75	93,20	59,84	80,75



**Tabela 6** – Propriedades físico-mecânicas e ópticas do papel – água ultrafiltrada do tanque pulmão

Parâmetros	Amostras			
	Água ultrafiltrada do tanque pulmão			
	Nº de revoluções PFI			
	0	1000	2000	2500
Alvura (% ISO)	87,9	85,6	84,5	84,1
Opacidade (%)	84,5	76,0	72,1	70,9
Brancura	76,2	71,8	69,3	67,3
Índice de tração (N.m/g)	14,97	48,01	75,29	79,66
Módulo de elasticidade (MN.m/kg)	2,66	5,71	6,72	6,84
TEA (J/m <sup>2</sup> )	6,77	44,30	92,87	104,65
Índice de arrebentamento (KPa.m/g)	0,45	2,77	3,89	4,66
Índice de rasgo (mN.m <sup>2</sup> /g)	2,66	9,42	8,82	9,19
Resistência à passagem de ar (s/100cm <sup>3</sup> )	7,10	8,81	35,02	80,57
Lisura (s/50cm <sup>3</sup> )	4,25	12,24	17,18	17,72
Maciez (s/100cm <sup>3</sup> )	230,90	41,82	33,14	45,18

Pôde-se observar que, comparativamente, algumas das propriedades físico-mecânicas do papel tiveram melhores respostas na polpa que sofreu branqueamento com água fresca no último nível de refino. As propriedades de índice de tração, módulo de elasticidade, TEA, resistência à passagem de ar e índice de arrebentamento não foram afetadas pela reutilização das águas brancas bruta e ultrafiltrada do tanque pulmão. As propriedades ópticas também foram mantidas estáveis durante a reutilização dos efluentes testados.

Portanto, é importante verificar se os resultados encontrados para os testes físicos e ópticos atingem os padrões de qualidade mínimos exigidos pela indústria para a obtenção do produto final. Outro fator que deve ser observado é a escala laboratorial de trabalho desse estudo que possivelmente possui resposta diferenciada dos testes realizados em níveis piloto ou industrial. Estes testes podem ser objeto de estudos futuros.

No processo industrial integrado, a massa vinda do branqueamento recebe nas máquinas de papéis aditivos, colas e cargas (CaCO<sub>3</sub>), alterando a resistência da polpa em função da retenção de cargas no papel. A água branca das máquinas é utilizada em sua maior parte para conduzir a polpa de saída das torres de estocagem do branqueamento até as máquinas, portanto, em ambiente água branca.

As adições de cargas restantes se dão no ambiente da máquina de papel quando do refino da massa. Não se espera, no processo industrial, diferenças na resistência da polpa pela aplicação da água branca tal qual ou ultrafiltrada na entrada do último estágio de peroxidação da celulose.

O grande desafio para esta aplicação está em não se ter incrustações de carbonato de cálcio no *stand pipe* (aquecimento com vapor) ou tubulações, devido à dureza da água e o pH neste ponto ser alcalino.

#### 4. Conclusões

A partir do presente trabalho pode-se afirmar que a tecnologia de ultrafiltração de membranas é potencialmente viável tecnicamente como tratamento setorial de efluentes de fábricas integradas de celulose e papel. O tratamento de ultrafiltração mostrou que a água branca do tanque pulmão não apresenta potencial de entupimento rigoroso. Entretanto, a reutilização dos efluentes tratados pode ter a sua aplicação limitada pelo teor de contaminantes neles presentes.

A aplicação de água branca ultrafiltrada no branqueamento pode ocasionar acúmulo de íons salinos, material orgânico no processo produtivo. Entretanto, é esperado que este acúmulo não venha afetar o processo em seu desempenho e eficiência, tanto em termos de equipamentos, consumo de químicos e branqueabilidade.

Algumas propriedades físico-mecânicas foram afetadas pela reutilização das águas brancas bruta e ultrafiltrada do tanque pulmão, como o índice de tração, módulo de elasticidade, TEA e resistência à passagem de ar. Por outro lado, as propriedades ópticas mantiveram-se praticamente estáveis para as diferentes águas de processo.

Os resultados comparativos mostram, de uma forma geral, que o impacto da reutilização da água branca ultrafiltrada no branqueamento e na qualidade do produto final não foi significativo. Entretanto, é importante ressaltar que os testes foram realizados a nível laboratorial, com

possibilidade de não expressarem a realidade industrial. Testes futuros a níveis piloto e industrial são sugeridos para a comprovação desse estudo.

## 5. Lista de Símbolos

ECF – Seqüência de branqueamento livre de cloro elementar  
DQO – Demanda química de oxigênio  
DBO<sub>5</sub> – Demanda bioquímica de oxigênio  
ST – Sólidos totais  
SST – Sólidos suspensos totais  
SDT – Sólidos dissolvidos totais  
SCFM – Pé cúbico padrão por minuto  
UC – Unidade de cor  
NTU – Unidade nefelométrica de turbidez  
TEA – absorção de energia de tração (*tensile energy absorption*)  
D – estágio de dioxidação  
Eop – extração alcalina pressurizada com peróxido de hidrogênio e oxigênio  
P – estágio de peroxidação

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado ao aluno Cassiano Rodrigues de Oliveira e da bolsa de iniciação científica ao aluno Márcio Dias Rabelo. Os autores agradecem à Cia. Suzano de Papel e Celulose pela concessão de amostras.

## 7. Referências Bibliográficas

- [1] Silva, C. M., O controle preventivo da poluição: efluentes industriais, *Ação Ambiental*, (2001) 19-21.
- [2] Wörster, H. E., Costa, M. M., Fechamento de Circuito da Água Branca em Indústrias de Papéis, *Seminário sobre Fechamento de Circuito*, (1997) 1-15.
- [3] Silva, C. M., Fechamento de circuitos na indústria de celulose e papel, *O Papel*, 7 (1997) 35-37.
- [4] Silva, C. M., Utilização de membranas sintéticas na indústria de celulose e papel, *O Papel*, 1 (2000), 56-61.
- [5] Silva, C. M. Reeve, D. W., Woodhouse, K. A., Husain, H., Behmann, H., Water reuse in the pulp and paper industry: evaluation of four microfiltration applications, *Pulp & Paper Canada*, 5 (1999) 38-43.
- [6] Jokinen, J.; Söderberg, P.; Nyström, M., UF and NF pilot studies on internal purification of paper mill make-up waters – TAPPI International Environmental Conference Proceedings, (1995) 847 – 859.
- [7] Jokinen, J.; Luque, S., Kaipia, L.; Nyström, M., Ultra- and nanofiltration of paper machine circulation waters – 4<sup>th</sup> IAWQ Symposium on Forest Industry Wastewaters Proceedings, Finland, (1993).
- [8] Relatório Interno da CSPC – Estudo do Balanço de massa do branqueamento com identificação das fontes e a evolução do deslocamento do cálcio no sistema, (1997).